

**PENGARUH INHIBITOR KAFEINA PADA LAJU KOROSI DAN STRUKTUR MIKRO
BAJA KARBON KS01 DAN AISI 1045 DALAM MEDIA AIR LAUT**

**EFFECT OF CAFFEINE INHIBITOR IN CORROSION RATE AND MICROSTRUCTURE
OF KS01 CARBON STEEL AND AISI 1045 AT MEDIA SEA WATER**

Sulistioso Giat S, Setyo Purwanto, Deswita, Ari Handayani

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN), BATAN

e-mail : sulistioso@gmail.com

Berta Vidyandana

Jurusan Kimia, Universitas Pajajaran

Diterima 18 Nopember 2012, diterima dalam bentuk perbaikan 03 Mei 2013, disetujui 22 Mei 2013

ABSTRAK

PENGARUH INHIBITOR KAFEINA PADA LAJU KOROSI DAN STRUKTUR MIKRO BAJA KARBON KS01 DAN AISI 1045 DALAM MEDIA AIR LAUT. Sejumlah material sintetis digunakan sebagai inhibitor untuk mencegah korosi, tetapi kebanyakan inhibitor tersebut bersifat racun, maka digunakan bahan organik sebagai inhibitor korosi, yang tidak berbahaya dan ramah lingkungan. Penggunaan inhibitor dikenal sangat baik, diantara beberapa metode pengendalian dan pencegahan korosi. Pada penelitian ini digunakan senyawa kafeina sebagai inhibitor korosi. Senyawa ini dapat digunakan sebagai inhibitor korosi karena adanya gugus-gugus yang mengandung pasangan elektron bebas, yaitu gugus nitrogen. Pengujian laju korosi dilakukan di media air laut yang diambil dari daerah Utara Indramayu dengan variasi konsentrasi kafeina 0, 50, 100, 150, dan 200 ppm untuk mengetahui konsentrasi optimum kafeina dalam menghambat laju korosi baja karbon KS01 dan AISI 1045 yang merupakan material yang banyak digunakan pada sistem pendingin di industri. Laju korosi baja karbon KS01 tanpa penggunaan inhibitor lebih kecil, yaitu 25,07 mpy dibandingkan dengan laju korosi baja karbon AISI 1045 yaitu sebesar 45,82 mpy. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kafeina mampu menghambat laju korosi baja karbon KS01 dengan efisiensi optimum sebesar 64,38%, dan baja karbon AISI 1045 sebesar 66,63%. Konsentrasi optimum dari kafeina untuk menghambat baja karbon AISI 1045 adalah 150 ppm dan untuk AISI KS01 adalah 100 ppm. Selain uji korosi dilakukan juga analisis struktur mikro dari kedua sampel di atas, sebelum dan sesudah diberi inhibitor.

Kata Kunci: Inhibitor Organik, Inhibitor Kafeina, Korosi Air Laut

ABSTRACT

EFFECT OF CAFFEINE INHIBITOR IN CORROSION RATE AND MICROSTRUCTURE OF KS01 CARBON STEEL AND AISI 1045 AT MEDIA SEA WATER. Many synthetic materials are good inhibitors for the prevention of corrosion. Many inhibitors are toxic, because of the influence of these toxic properties, recently use organic materials as corrosion inhibitors, that are not hazardous and environmentally friendly. In this study caffeine compounds used as corrosion inhibitors. This compound could be used as corrosion inhibitor because of the existence of their chemical groups that containing free electron pair, that is nitrogen. Corrosion rate testing conducted in sea water medium taken from the Northern region of Indramayu with variations of the concentration of caffeine 0, 50, 100, 150, and 200 ppm to determine the optimum concentration of caffeine in corrosion rate of carbon steel AISI 1045 and KS01 that a widely used on the cooling system in the industry. Corrosion rate of KS-01 steel before used in inhibitor media is 25,07 mpy that less than corrosion rate of carbon steel AISI 1045, is 45,82 mpy. The results of this study indicate that caffeine is able to inhibit the corrosion rate of both of samples with optimum efficiency KS01 for 64.38%, and AISI 1045 of 66.63%. The optimum concentration of caffeine to inhibited AISI 1045 is 150 ppm and for KS01 is 100 ppm,. Beside that analysis of microstructure for both samples have done, for media before and after inhibitor addition.

Keywords: Organic Inhibitor, Inhibitor caffeine, Sea Water Corrosion

PENDAHULUAN

Korosi merupakan sistem termodinamika logam dengan lingkungan (air, udara, dan tanah), yang berusaha mencapai kesetimbangan⁽¹⁾. Walaupun kembalinya logam ke keadaan oksidanya tidak dapat dihindari, tetapi banyak metode pencegahan dan pengendalian korosi yang dapat digunakan untuk memperlambat laju korosi ke keadaan kesetimbangan^(1,2). Di antara semua metode pengendalian korosi pada bejana dan perpipaan, penghambatan korosi merupakan salah satu metode pengendalian yang paling luas penggunaannya⁽³⁾. Penggunaan *inhibitor* terkenal sangat baik diantara beberapa metode pengendalian dan pencegahan korosi. *Inhibitor* korosi merupakan bahan yang ditambahkan dalam konsentrasi yang kecil ke dalam medium untuk menurunkan atau mencegah reaksi antara logam dengan medium. *Inhibitor* dapat ditambahkan ke dalam berbagai sistem, seperti sistem pendingin, unit kilang minyak, unit produksi minyak dan gas kimia, *boiler*, dan sebagainya⁽⁴⁾. *Inhibitor* membentuk lapisan pelindung *in situ* karena reaksi antara larutan dengan permukaan logam⁽⁵⁾. Walaupun banyak bahan-bahan *inhibitor* sintetik yang baik untuk pencegahan korosi akan tetapi, banyak diantaranya yang bersifat toksik baik terhadap manusia maupun lingkungan. *Inhibitor* jenis ini dapat menyebabkan kerusakan terhadap sistem organ tubuh baik yang bersifat *reversibel* maupun *irreversibel*. Karena pengaruh sifat toksik tersebut, saat ini mulai digunakan bahan-bahan organik sebagai *inhibitor* korosi yang tidak berbahaya dan ramah lingkungan⁽⁴⁾. Dari beberapa penelitian terdahulu, diketahui bahwa ekstrak daun tembakau, teh, dan kopi dapat berfungsi sebagai *inhibitor* pada sampel logam besi, tembaga, dan aluminium dalam medium larutan garam. Keefektifan ini diduga karena ekstrak daun tembakau, teh, dan kopi memiliki gugus nitrogen yang berfungsi sebagai penyumbang atau donor elektron terhadap besi (II) untuk membentuk senyawa kompleks⁽⁶⁾. *Inhibitor* kafeina merupakan *inhibitor* organik sehingga, proses penghambatiannya disebabkan *adsorpsi* molekul dalam permukaan logam. *Inhibitor* teradsorpsi pada permukaan logam membentuk lapisan pasif yang melindungi logam terhadap korosi lebih lanjut. Secara keseluruhan senyawa *inhibitor* adalah netral tetapi, gugus nitrogen pada senyawa memiliki pasangan elektron bebas yang menyebabkan *inhibitor* cenderung bermuatan negatif sehingga, *inhibitor* akan tertarik ke permukaan logam dan membentuk lapisan⁽⁷⁾. Penelitian ini akan membuktikan bahwa *inhibitor* organik kafein dapat menghambat laju korosi dari baja karbon KS01 dan AISI 1045, yang mana kedua logam tersebut sangat mudah terkorosi, walaupun pada udara terbuka, dan hal yang perlu dicatat adalah kedua logam tersebut banyak digunakan untuk lapisan komponen industri.

METODOLOGI

Bahan

- Air laut dari daerah utara Indramayu dengan salinitas 3,5%.
- Kafeina pro analisis.

Preparasi Sampel

Spesimen baja karbon KS01 dan AISI 1045 dengan $\phi = 1,5$ cm dipoles dengan menggunakan alat poles *Grinder Polisher* dan kertas abrasif grit 220, 400, 600, 800, 1000 dan 1500. Pengamplasan dilakukan dengan dialirkan air untuk mencegah terjadinya oksidasi akibat panas yang ditimbulkan dari interaksi yang terjadi antara permukaan spesimen dengan permukaan kertas abrasif, lalu spesimen dibilas dengan menggunakan ethanol agar permukaan spesimen cepat kering dan bebas dari lemak dan kotoran yang dapat mengganggu proses pengujian laju korosi.

Pembuatan Larutan Uji

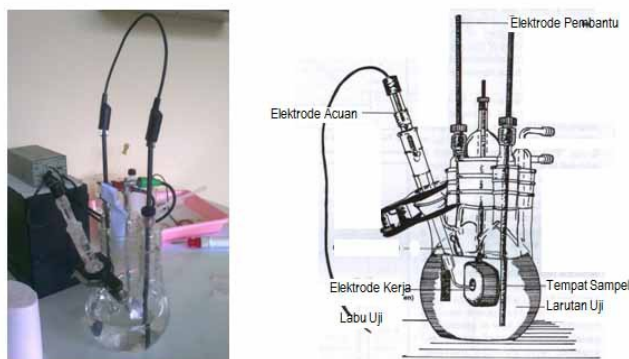
Kafeina ditimbang sebanyak 0,5 g dengan menggunakan neraca OHAUSS Galaxy™160 kemudian dilarutkan ke dalam 250 mL air laut dengan menggunakan labu ukur. Setelah itu, dilakukan pengenceran konsentrasi menjadi 50, 100, 150, dan 200 ppm.

Pelaksanaan / Langkah Percobaan

Media uji korosi ini disimulasikan sebagai lingkungan pada sistem pendingin yang menggunakan air laut sebagai media pendingin. Ke dalam media air laut tersebut dilarutkan kafeina yang berfungsi sebagai *inhibitor* korosi. Pengujian korosi dilakukan untuk beberapa variasi konsentrasi kafeina, yaitu 0, 50, 100, 150, dan 200 ppm untuk menentukan konsentrasi optimum dari *inhibitor* kafeina dalam menghambat baja karbon KS01 dan AISI 1045 dalam media air laut. Proses pengujian laju korosi ini adalah spesimen baja yang telah dipreparasi

dimasukkan ke dalam tempat sampel. Kemudian dimasukkan ke dalam labu uji yang berisi air laut. Setelah itu, elektrode acuan dan elektrode pembantu juga dicelupkan ke labu uji, seperti yang dapat dilihat pada gambar 1 berikut. Rangkaian sel elektrokimia ini disebut sel uji tiga elektrode. Rangkaian ini kemudian dihubungkan dengan rangkaian alat potensiostat yang terdiri dari Potensiostat/Galvanostat Model 273, Merk: *EG&G Princeton Applied Research* yang dapat dilihat pada Gambar 1 berikut dan seperangkat komputer.

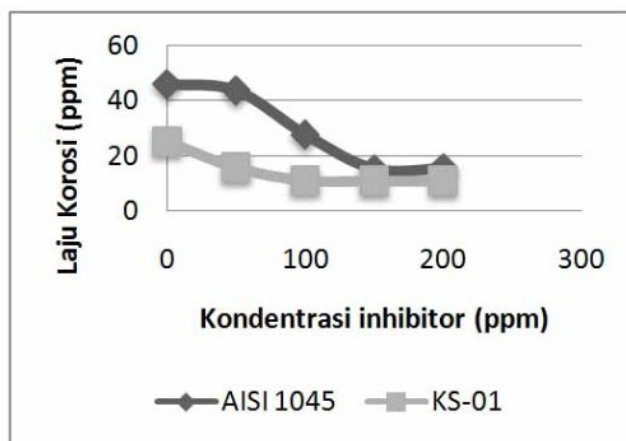
Spesimen baja karbon berfungsi sebagai elektroda kerja, yaitu elektroda yang diukur laju korosinya. Di antara elektroda kerja dan elektroda acuan diberi tegangan, sehingga mempercepat terjadinya korosi. Elektroda acuan yang digunakan pada sel elektrokimia ini adalah elektroda kalomel jenuh, yang digunakan pada pengujian sel elektrokimia. Elektroda kalomel digunakan dalam pengujian ini karena merupakan salah satu elektroda standar yang nilai potensialnya telah diketahui, dan nilai potensial elektroda ini ditentukan secara teliti terhadap elektroda standar hidrogen. Kemudian saat terjadi korosi pada sampel akan dihasilkan arus dari elektroda kerja yang akan dialirkan ke luar larutan oleh elektrode pembantu yang terbuat dari karbon. Arus yang dialirkan ini kemudian akan terukur oleh potensiostat, sehingga laju korosi spesimen dapat terhitung. Oleh karena itu, potensiostat ini hanya dapat digunakan untuk mengukur laju korosi pada media larutan karena diperlukan elektrolit sebagai media konduktor untuk mengalirkan arus yang dihasilkan elektroda kerja menuju elektroda pembantu.



Gambar 1. Rangkaian sel uji tiga elektrode (Rothstein, 1986).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji laju korosi baja karbon KS01 dan AISI 1045 ditampilkan pada Gambar 2 berikut. Dari Gambar tersebut tampak bahwa laju korosi baja karbon KS01 sebelum penggunaan *inhibitor* 25,07 mpy dan laju korosi baja karbon AISI 1045 sebelum penggunaan *inhibitor*, yaitu 45,82 mpy. Hal ini disebabkan oleh kandungan krom yang terdapat pada baja - karbon KS01 jauh lebih tinggi, yaitu sebesar 1,2% daripada kandungan krom pada baja karbon AISI 1045, yaitu sebesar 0,2%. Unsur kromium yang terkandung akan membuat baja tahan terhadap korosi ⁽⁸⁾.



Gambar 2. Grafik laju korosi baja karbon dalam air laut

Dari Gambar 2 juga dapat dilihat bahwa laju korosi baja KS01 setelah media air laut ditambahkan *inhibitor* kafeina sebanyak 50 ppm, laju korosi baja KS01 menurun dari 25,07 mpy menjadi 15,65 mpy. Hal ini dapat dijelaskan karena *inhibitor* membentuk senyawa di permukaan logam, yang terdiri dari senyawa kompleks antara besi dengan senyawa kafeina, senyawa ini menurunkan konduktivitas logam, dan konsekuensinya menurunkan laju korosi. Kemudian dengan bertambahnya konsentrasi *inhibitor* kafeina, laju korosi baja KS01 semakin menurun, hingga pada konsentrasi optimum *inhibitor*nya, yaitu 100 ppm, dengan laju korosi sebesar 8,93 mpy.^(6,7) Pada penambahan *inhibitor* kafeina sebanyak 150 ppm, laju korosi baja KS01 naik menjadi 10,52 mpy, hal ini menunjukkan bahwa penambahan *inhibitor* kafeina sebanyak 150 ppm telah melewati batas optimum *inhibitor* kafeina terhadap baja KS01 dalam air laut.

Untuk laju korosi baja AISI 1045 dalam air laut penambahan *inhibitor* kafeina sama seperti pada baja KS01. Laju korosi baja AISI 1045 semakin menurun dengan bertambahnya konsentrasi *inhibitor* kafeina dalam larutan uji, sampai pada konsentrasi optimumnya, yaitu pada konsentrasi 150 ppm. Pada konsentrasi *inhibitor* kafeina 200 ppm, laju korosi baja AISI 1045 meningkat dibandingkan dengan pada konsentrasi *inhibitor* kafeina 150 ppm dari 15,29 mpy menjadi 15,83 mpy. Dari data laju korosi tersebut, *inhibitor* kafeina efisien untuk digunakan dalam pencegahan korosi baja KS01 dan AISI 1045. Grafik efisiensi *inhibitor* kafeina dalam air laut terhadap baja KS01 dan AISI 1045 dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.

Perhitungan Efisiensi Inhibitor

Efisiensi *inhibitor* dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

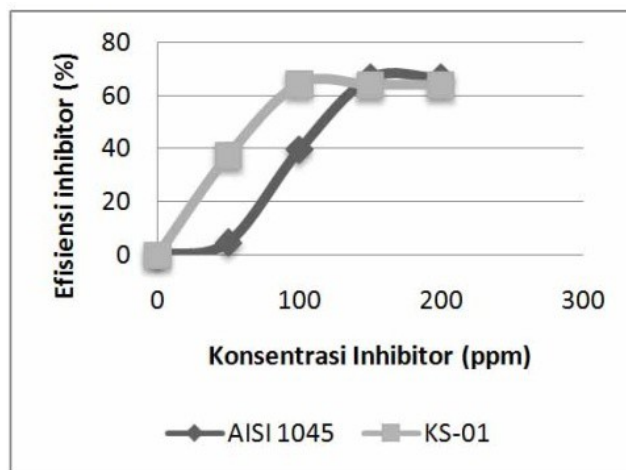
$$E = \frac{CR_{\text{tanpa inhibitor}} - CR_{\text{dengan inhibitor}}}{CR_{\text{tanpa inhibitor}}} \times 100\%$$

Keterangan:

E = efisiensi *inhibitor* (%)

$CR_{\text{tanpa inhibitor}}$ = laju korosi tanpa *inhibitor* (mpy)

$CR_{\text{dengan inhibitor}}$ = laju korosi dengan *inhibitor* (mpy)

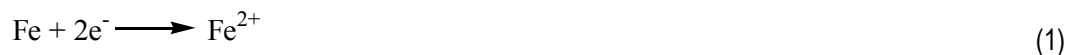


Gambar 3. Grafik efisiensi *inhibitor* kafeina terhadap konsentrasi inhibitor dalam media air laut

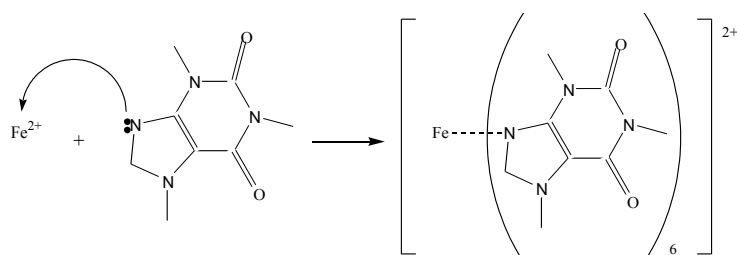
Efisiensi optimum *inhibitor* kafeina pada baja KS01 dalam air laut adalah pada konsentrasi *inhibitor* kafeina sebesar 100 ppm dalam air laut, yaitu sebesar 64,38%, sedangkan efisiensi optimum *inhibitor* kafeina pada baja AISI 1045 adalah pada konsentrasi *inhibitor* kafeina sebesar 150 ppm, yaitu sebesar 66,63%.

Kafeina merupakan salah satu senyawa yang mengandung gugus nitrogen yang memiliki pasangan elektron bebas, sehingga kafeina dapat digunakan sebagai *inhibitor* korosi. Gugus nitrogen ini berfungsi sebagai pendonor elektron terhadap besi (II) untuk membentuk senyawa kompleks⁽⁶⁾. Reaksi yang terjadi antara logam

besi dengan medium korosif seperti air dan udara, sehingga mengoksidasi besi menjadi ion besi (II) yang dapat dilihat pada persamaan (1).

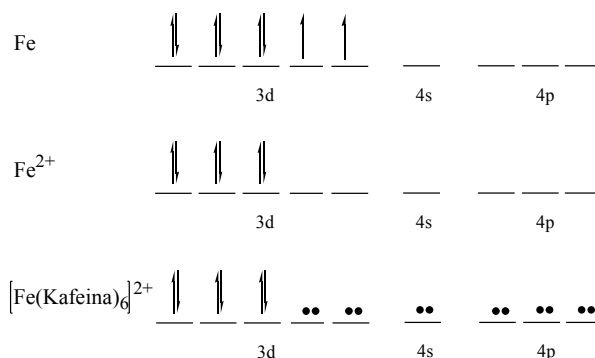


Kemudian, terjadi reaksi antara ion besi (II) dengan *inhibitor* kafeina menghasilkan senyawa kompleks. *Inhibitor* kafeina yang mengandung gugus nitrogen mendonorkan sepasang elektronnya pada permukaan logam baja yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Gugus nitrogen pada kafeina mendonorkan elektronnya pada ion besi (II)⁽⁶⁾.

Senyawa kompleks yang terbentuk memiliki kestabilan yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja, sehingga permukaan baja yang diberikan *inhibitor* akan lebih tahan terhadap korosi. Mekanisme pembentukan senyawa kompleks besi (II) dengan kafeina dapat dilihat pada Gambar 5⁽⁶⁾.

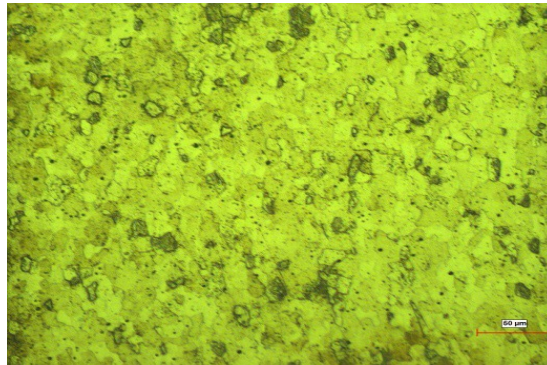


Gambar 5. Mekanisme pembentukan senyawa kompleks besi (II) dengan kafeina⁽⁶⁾.

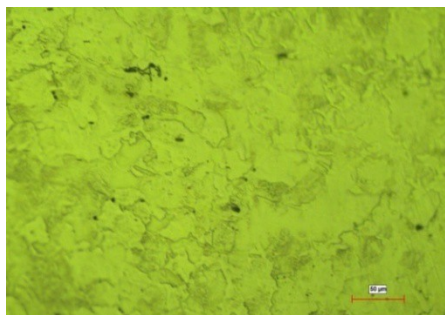
Inhibitor akan teradsorpsi pada permukaan logam membentuk lapisan tipis yang hidrofobik sehingga mengisolasi permukaan dengan lingkungannya. Adsorpsi *inhibitor* ke permukaan logam yang disebabkan oleh gaya tarik elektrostatis antara muatan ion dengan muatan listrik antarmuka logam⁽⁹⁾, pada permukaan baja karbon^(6,7). Penambahan *inhibitor* kafeina menjadi 150 ppm, menaikkan laju korosi baja KS01, menjadi 10,52 mpy, hal ini membuktikan bahwa penambahan *inhibitor* kafeina sebanyak 150 ppm telah melewati konsentrasi optimum *inhibitor* kafeina terhadap baja KS01 dalam air laut.

Analisis Struktur Mikro

Berikut ini adalah foto sampel AISI 1045 dan KS-01 sebelum dan sesudah penggunaan *inhibitor*.

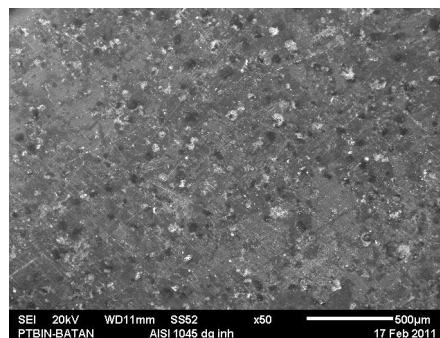


Gambar 6. Foto struktur mikro AISI 1045, sebelum diuji korosi

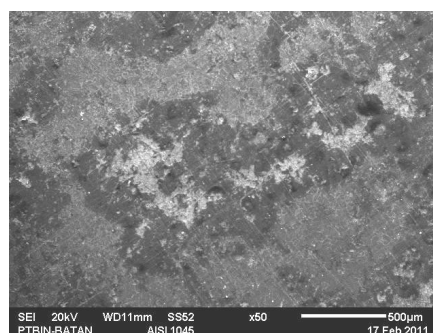


Gambar 7. Foto struktur mikro KS-01 sebelum diuji korosi.

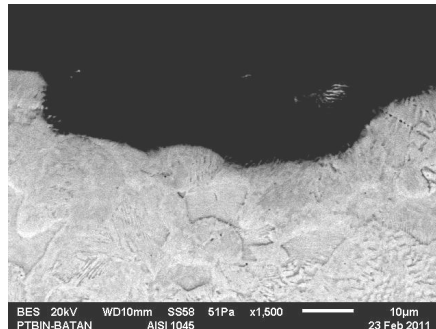
Gambar 6 dan 7 di atas adalah struktur mikro dari AISI 1045 dan KS-01 yang difoto dengan mikroskop optik dan etsa dengan larutan NITAL. Struktur mikro dari AISI 1045 menunjukkan morfologi yang lebih halus dan batas butirnya tidak jelas. Struktur mikro dari KS-01 menunjukkan morfologi yang kasar, dengan batas butir yang jelas.



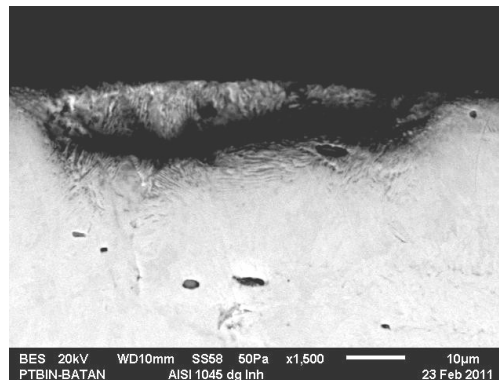
Gambar 8A. Foto morfologi AISI 1045, setelah diuji korosi air laut sebelum digunakan *inhibitor*



Gambar 8B. Foto morfologi sampel AISI 1045, setelah diuji korosi air laut , dengan menggunakan *inhibitor* 100 ppm

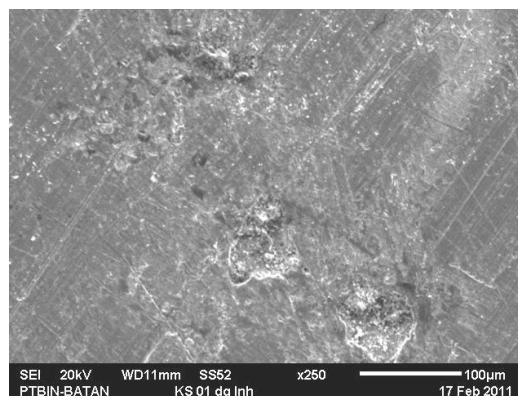


Gambar 9A. Fotoampang lintang sampel AISI 1045, setelah diuji korosi air laut, sebelum digunakan *inhibitor*

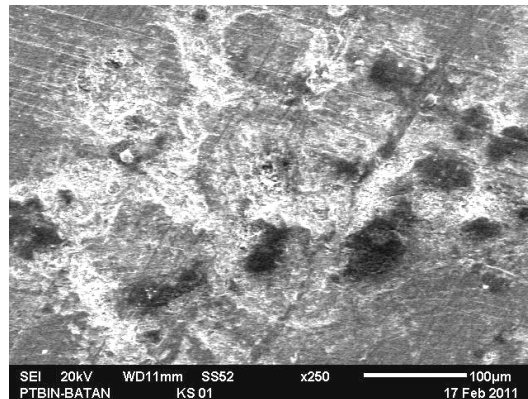


Gambar 9B. Foto tampang lintang sampel AISI 1045, setelah diuji korosi air laut, dengan menggunakan *inhibitor* 100 ppm

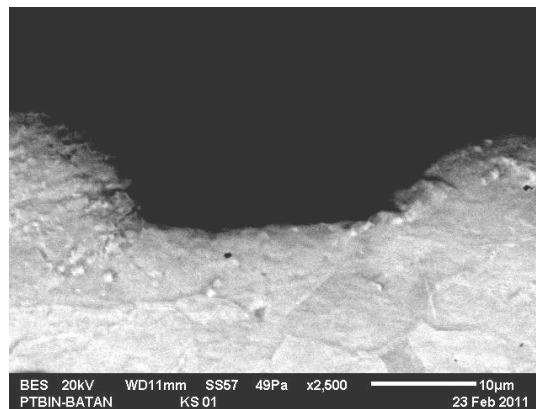
Gambar 8A dan 8B, menunjukkan morfologi sampel setelah dikorosi pada media air laut selama 168 jam difoto dengan SEM. Gambar 8A adalah morfologi permukaan sampel AISI 1045 yang terkorosi akibat direndam pada media air laut tanpa *inhibitor*, tampak kerusakan pada permukaan sampel yang disebabkan oleh oksidasi, akibat interaksi antara air laut dengan permukaan logam. Gambar 8B adalah foto morfologi permukaan sampel AISI 1045 yang direndam pada air laut yang mengandung *inhibitor* kafeina sebanyak 150ppm. Gambar 9A dan 9B, adalah foto tampang lintang dari kerusakan akibat korosi dipermukaan sampel , yang berbentuk lubang. Gambar 9A menunjukkan lubang yang besar pada sampel akibat oksidasi yang terjadi karena interaksi air laut dengan permukaan sampel. Gambar 9B menunjukkan permukaan sampel yang sedikit berlubang, setelah direndam pada air laut yang mengandung *inhibitor* kafeina sebanyak 150 ppm.



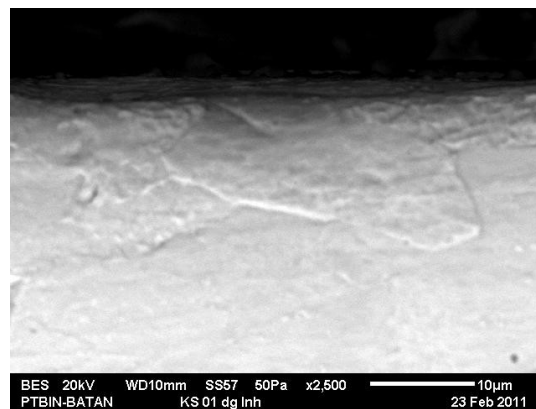
Gambar 10A. Foto morfologi permukaan sampel KS-01, setelah diuji korosi air laut , sebelum digunakan *inhibitor*



Gambar 10B. Foto morfologi permukaan sampel KS - 01, setelah diuji korosi air laut, dengan menggunakan *inhibitor* 100 ppm



Gambar 11A. Foto tampak lintang sampel KS-01, setelah diuji korosi air laut, sebelum digunakan *inhibitor*



Gambar 11B. Foto tampak lintang sampel KS-01, setelah di uji korosi air laut , dengan menggunakan *inhibitor* 150 ppm

Analog dengan kondisi yang ditunjukkan pada Gambar 8A dan 8B serta 9A dan 9B, Gambar 10A, 10B dan 11A, 11B adalah foto – foto SEM yang menunjukkan morfologi permukaan pada sampel KS-01 yang direndam pada air laut selama 168 jam. Gambar 10A dan 11A adalah sampel KS-01 yang direndam di air laut tanpa *inhibitor*, sedangkan gambar 10B dan 11B adalah sampel yang direndam pada air laut dengan kandungan *inhibitor* kafeina sebanyak 100 ppm.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, *inhibitor* kafeina merupakan *inhibitor* organik yang baik untuk menghambat laju korosi baja karbon KS01 dan AISI 1045 dalam media air laut. Efisiensi optimum *inhibitor* kafeina dalam menghambat laju korosi baja karbon KS01 dalam air laut dicapai pada konsentrasi *inhibitor* kafeina 100 ppm sebesar 64,38%, dengan laju korosi sebesar 8,93 Mpy, sedangkan efisiensi optimum *inhibitor* kafeina untuk baja karbon AISI 1045 dicapai pada konsentrasi *inhibitor* kafeina 150 ppm sebesar 66,63% dengan laju korosi 15,29 Mpy. Penghambatan korosi oleh *inhibitor* kafeina, juga dapat dilihat secara visual dengan foto morfologi permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- M. M. ANTONIJEVIC* and M. B. PETROVIC. *Corrosion Inhibitors*. A review. *Int. J. Electrochem. Sci.*, Volume 3, (2008) 1-28
- SHAW, B. A. & KELLY, R. G. *What is Corrosion?. The Electrochemical Society Interface*. Spring. (2006) 24-26.
- BHARGAVA, G., O, A., RAMANARAYANA, T. A., & BERNASEK, S. L. *Fe Interactions: Temperature Dependent Study of Fe Corrosion in CO₂ Saturated Brine*. *Corrosion Inhibitor*. (2007) 511.
- RAJA, P. B. & SETHURAMAN, M. G. *Natural Products as Corrosion Inhibitor for Metals in Corrosive Media*. *Materials Letters* 62 (2008) 113-116.
- M.YADAV, S.YADAV, A. YADAV..*Inhibition of corrosion by substituted triazoles in 3.5% NaCl solution*. *J. Chem. Pharm. Res.* 3(6) (2011) 576-583
- HERMAWAN,B. *Inhibitor Korosi*, http://www.chemistry.org/artikel_kimia/berita/ekstra_bahan_alam_sebagai_alternatif_inhibitor_korosi/. (2007)
- YATIMAN, P. *Mekanisme Inhibisi Benzotriazole pada Korosi Baja Karbon dalam Larutan Natrium Klorida dan Natrium Karbonat*. [Tesis Magister]. ITB: Bandung. (2006)
- O. KRIMA, M. BOUACHRINEB, B. HAMMOUTI*,A, A. ELIDRISSIA, M. HAMIDI. *2,5-Difuryl -N Methylpyrrole as corrosion Inhibitors for steel in 1M HCl*. *Portugaliae Electrochimica Acta* 26 (2008) 283-289
- INDARTO, D. *Pengaruh Waktu Tahan Proses Hot Dipping Baja Karbon Rendah Terhadap Ketebalan Lapisan, Kekuatan Tarik dan Harga Impak dengan Bahan Pelapis Aluminum*. [Skripsi]. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Surakarta. (2009)